

Application Note

对楼宇自动化中采用直流/直流稳压的 Sub-1GHz 无线系统进行传导发射测试



Deva Issa

摘要

直流/直流转换器的工作开关频率可能会对系统无线电造成干扰。本应用手册探讨了不同类型的直流/直流转换器对用于无线防火安全、HVAC 和楼宇安全系统的无线电中杂散发射的影响，还探讨了如何选择能够解决这一难题的稳压器。

内容

1 引言.....	2
2 技术概述.....	2
3 出现杂散发射的原因.....	2
4 功能方框图和 PCB.....	3
5 传导发射测试和结果.....	4
6 结语.....	8
7 参考资料.....	8

插图清单

图 3-1. 输出电压波形分析推导的原理图.....	3
图 4-1. 传导发射测试电路板的方框图.....	3
图 4-2. 传导发射测试电路板的 PCB 设计.....	4
图 5-1. 传导发射测试设置.....	5
图 5-2. 0dBm 发射功率下的 LM5166 频率输出.....	5
图 5-3. 15dBm 发射功率下的 LM5166 频率输出.....	5
图 5-4. 0dBm 发射功率下的 LMR38010 频率输出.....	5
图 5-5. 15dBm 发射功率下的 LMR38010 频率输出.....	5
图 5-6. 0dBm 发射功率下的 LMR36510 频率输出.....	6
图 5-7. 15dBm 发射功率下的 LMR36510 频率输出.....	6
图 5-8. 在 400kHz 开关频率和 0dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出.....	6
图 5-9. 在 400kHz 开关频率和 15dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出.....	6
图 5-10. 在 2MHz 跨度和 15dBm 发射功率下的 LMR36510 频率输出.....	7
图 5-11. 在 2MHz 跨度 (400kHz 开关频率) 和 15dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出.....	7
图 5-12. 在 200kHz 开关频率和 15dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出.....	7
图 5-13. 在 2.5MHz 跨度、1MHz 开关频率和 15dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出.....	7
图 5-14. 在 2.5MHz 跨度、2MHz 开关频率和 15dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

CC1120 是一款完全集成式单芯片无线电收发器，专为在经济高效的无线系统中以超低功耗和低电压操作实现高性能。该器件主要用于工业、科学和医疗 (ISM) 应用以及短程设备 (SRD) 频带，即 164MHz 至 192MHz、274MHz 至 320MHz、410MHz 至 480MHz 以及 820MHz 至 960MHz。在许多此类应用中，无线电收发器 IC (如 CC1120) 通常由外部直流/直流转换器供电，以便调低系统的输入电压。虽然直流/直流转换器对系统的整体效率有益并且能够降低系统的电流消耗，但它们可能产生的输出纹波会干扰到发送接收器天线的频率输出。在工业环境中使用 CC1120 或其他无线电 IC 时，这可能会引起问题，因为器件必须保持一定的辐射发射水平才能通过 FCC 法规。为了缓解这种情况，最好是先了解会导致敏感电路出现不良行为的功能。

2 技术概述

现代电子系统中最常见的一种电路是开关模式电源 (SMPS)，该电路用于将电压调节到特定电平。这些稳压器在大多数应用中提供了比线性稳压器显著更高的效率。但这种效率是有代价的，因为 SMPS 的开关频率可能会干扰所提供电路的频率响应。

会引起干扰的一个 SMPS 示例是本应用中使用的降压转换器。降压转换器产生与其占空比成正比的输出电压。当其开关节点在连接到输入电压和连接到地之间切换时，降压转换器会转换电源。这种固有的开关操作会导致电路中的电流和电压进行开关和波动，从而导致输出电压也会在稳压稳态直流值的基础上产生纹波。这个纹波的频率会干扰电路中的信号，最终返回不良信号或频率输出。

在最近的无线烟雾探测器应用中，CC1120 收发器通过从 LM5166 降压转换器调节得到的 3.3V 输入供电。在测试此系统中的辐射发射性能时，可以看到，在 915MHz 频段内的辐射发射测试不符合 FCC 标准，对应于 FCC 法规 FCC 15.247 和 FCC 15.249。当 CC1120 设置为连续传输并由 LM5166 直接供电时，会出现杂散发射。通过各种直流/直流布局 (包括 LM5166 评估模块和各种直流/直流转换器) 为 CC1120 供电时也会出现杂散发射。在向 3.3V 输出添加 LC 滤波器或在直流/直流转换器后面添加 LDO，可以解决该问题。

为了进一步调查这些结果，我们设计了一个辐射发射测试板，来确定是否有降压转换器可以在无需附加外部滤波器的情况下使用 CC1120 通过辐射发射测试。

3 出现杂散发射的原因

杂散发射是由发射器载波频段之外的传输频率成分引起的信号，可能由 SMPS 或附近的无线电发射器引起，这些设备可能会无意中在未分配给该发射器的频率发射微弱信号。有关杂散发射的 FCC 法规规定：如果干扰是由杂散发射引起的，则发射器的操作人员必须按照 FCC 法规的要求采取任何必要的措施来减少杂散发射。

如前所述，当 SMPS 运行时，除了稳压稳态直流值之外，它输出的电压还会产生纹波。此纹波电压由一个或多个不同的频率组成。此纹波电压的频率成分会干扰收发器的频率输出，从而导致杂散发射。这表现为载波频率之外的多个频率谐波。如果特定频率的成分太丰富，则在按照 FCC 标准进行相关频段测试时，可能会导致出现失败。在观察 SMPS 的输出电压时，这一点很重要，因为许多不同的因素会影响 SMPS 的纹波值和频率成分，从而导致杂散发射。

假设降压稳压器中输出电容的简单原理图如图 3-1 所示，则可以推导出降压稳压器中的总电压纹波输出。

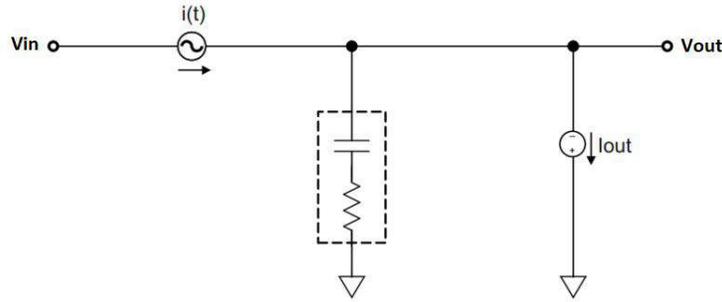


图 3-1. 输出电压波形分析推导的原理图

降压稳压器中的总电压纹波输出可以表示为 (完整推导请参阅[降压开关稳压器的输出纹波电压 \(修订版 A\) \(TI.com\)](#)) :

$$V_{out, p2p} = V_C + V_R \left(\frac{RCF_{SW}}{2D(1-D)} \right) \quad (1)$$

其中， V_C 表示仅电容器部分产生的电压纹波， V_R 表示仅电阻器部分产生的电压纹波， R 表示电阻值， C 表示电容， F_{SW} 表示稳压器的开关频率， D 表示占空比。假设输出电容 C 具有等效串联电阻 R (用图 3-1 中的虚线框所示的成分表示)。该公式表明，总输出纹波取决于电路的许多因素，如电阻器、电容器、占空比和开关频率。这很重要，因为输出纹波电压的频率成分决定了天线上频谱中的杂散发射水平。如果工程师决定更改这些值中的任何一个，以便更好地适应其应用中的输出，这可能会导致不必要的频率干扰，且干扰水平超出允许范围。

4 功能方框图和 PCB

图 4-1 显示了使用 CC1120 和四个不同的降压转换器设计的传导发射测试电路板的方框图，其中每个转换器都有独立的跳线使能。该电路板专为测试展频、可调开关频率、低成本和低开关频率选项等功能而设计。我们选择了 LM5166、LMR38010、LMR36510、LMR36506 等部分降压转换器来测试这些参数，并确定这些器件对发射的影响。

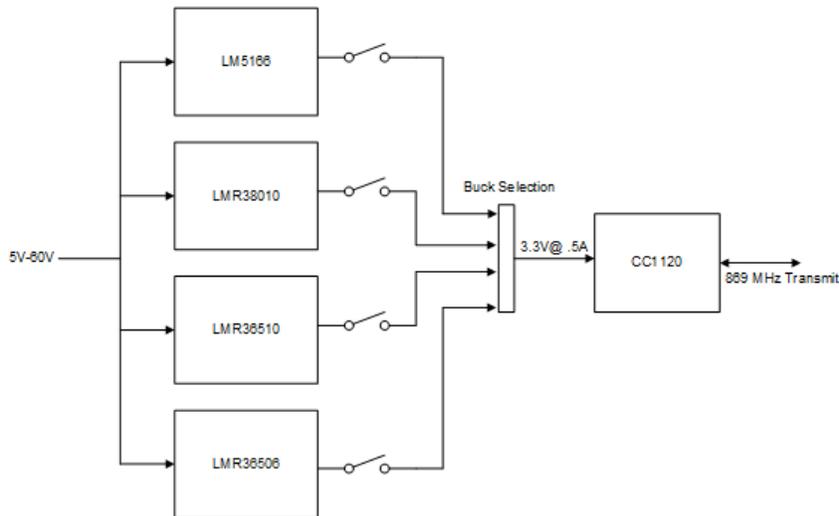


图 4-1. 传导发射测试电路板的方框图

系统的最初设计中已实施 LM1566，因此它在测试中可作为控制电路。选择 LM38010 是因为它具有展频功能和轻负载条件下的强制 PWM 模式器件选项。展频功能可以在更宽的带宽上分散纹波能量（例如，噪声整形），从而更大限度地降低 EMI。在轻负载条件下提供强制 PWM，从而可实现低输出电压纹波、严格的输出电压调节和恒定开关频率。它还提供了多种设计选项，可通过更改元件值将其开关频率更改为 200kHz 至 2.2MHz 范围内的频率。LMR36510 是一款具有 400kHz 固定频率的低成本降压转换器。最后，LMR36506 具有超低的工作静态电流。它还采用低 EMI 架构（无展频），在测试电路板上使用器件的轻负载版本时采用 PFM 模式。它支持可调开关频率，可根据元件值的变化进行修改，频率范围为 200kHz 至 2.2MHz。

图 4-2 展示了传导发射测试电路板的 PCB 设计。在电路板上放置了焊盘来选择无线电电源，从而更大限度地减少发射，并留出了额外的布板空间，以便将来重新设计以包括 PCB 天线。利用该电路板可以对使用同一电路板的四个单独降压转换器进行发射测试，从而可以比较降压转换器参数及其对无线电发射测试的影响。

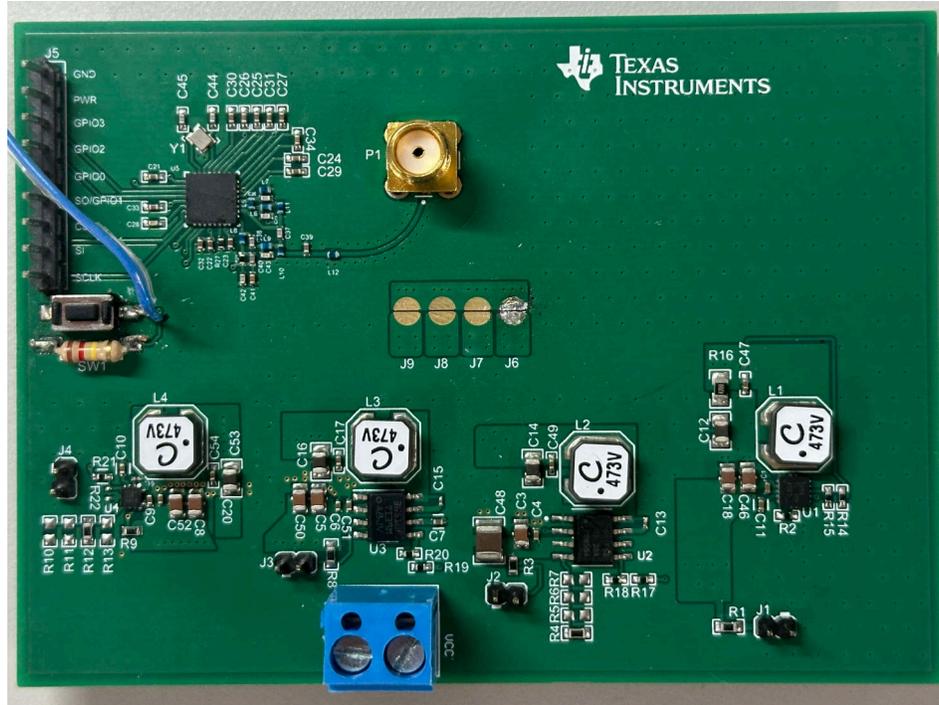


图 4-2. 传导发射测试电路板的 PCB 设计

5 传导发射测试和结果

测试平台包括由 24V 直流输入供电的传导发射测试电路板。该电路板随后连接到 [Smart RF 收发器评估板](#)，与 [Smart RF Studio](#) 结合使用，让用户可以访问器件寄存器来配置无线电参数和行为。该电路板还提供控制接口，用于执行诸如设置此应用中使用的连续波信号等操作。最后，将频谱分析仪连接到辐射发射测试板，用于测量天线的频率响应。

图 5-1 展示了用于测试的设置。

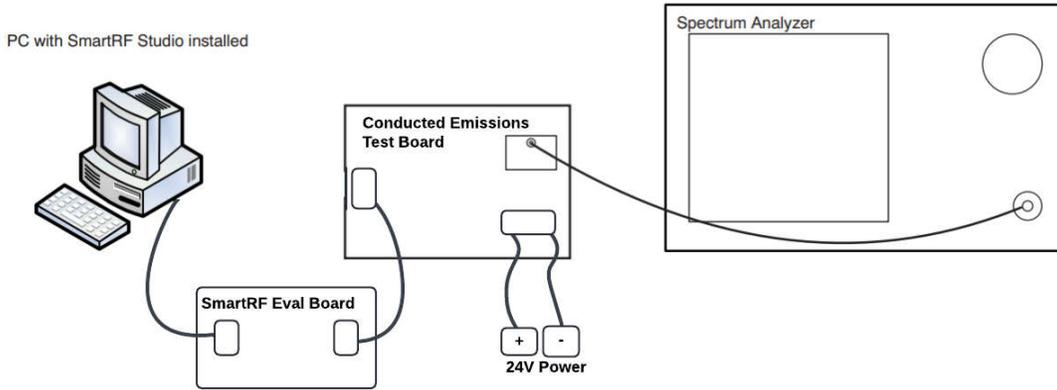


图 5-1. 传导发射测试设置

每个降压转换器都在 0dBm 和 15dBm 的发射功率下进行了测试。跨度设置为 500kHz，分辨率和视频带宽设置为 4.7kHz。观察到以下频谱。

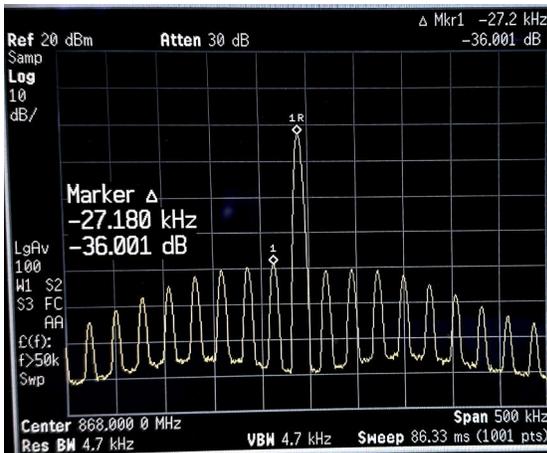


图 5-2. 0dBm 发射功率下的 LM5166 频率输出

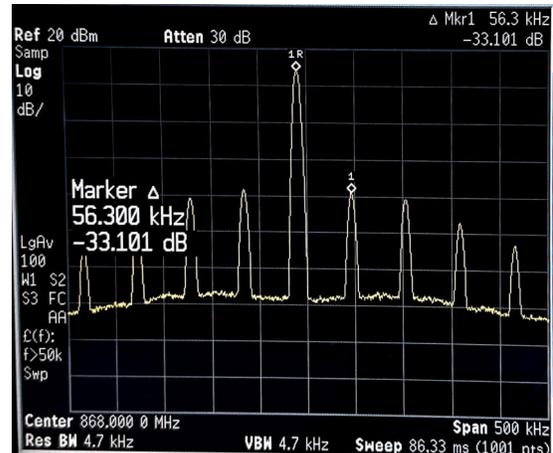


图 5-3. 15dBm 发射功率下的 LM5166 频率输出

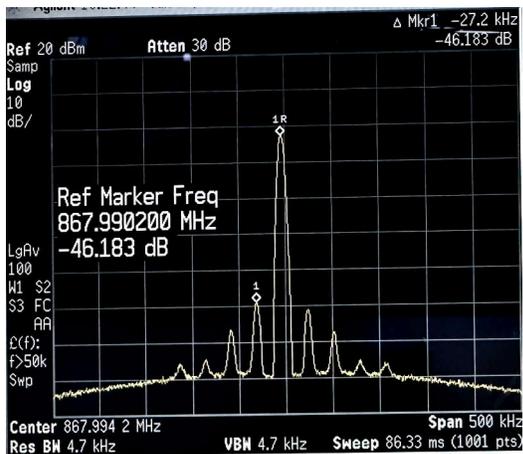


图 5-4. 0dBm 发射功率下的 LMR38010 频率输出

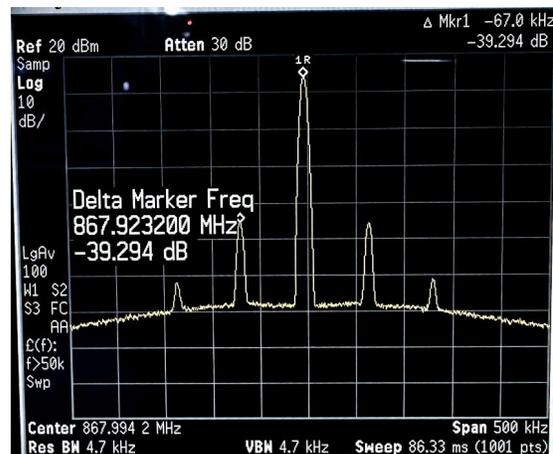


图 5-5. 15dBm 发射功率下的 LMR38010 频率输出

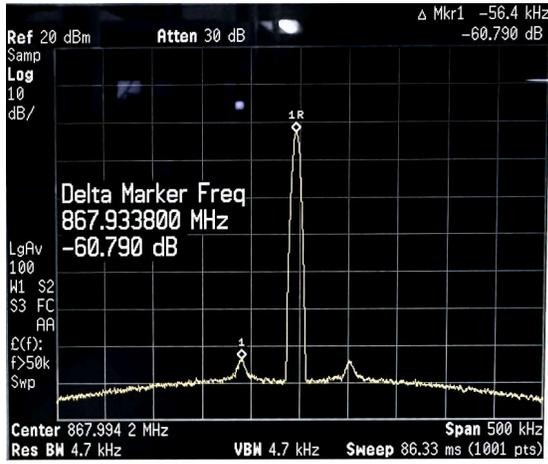


图 5-6. 0dBm 发射功率下的 LMR36510 频率输出

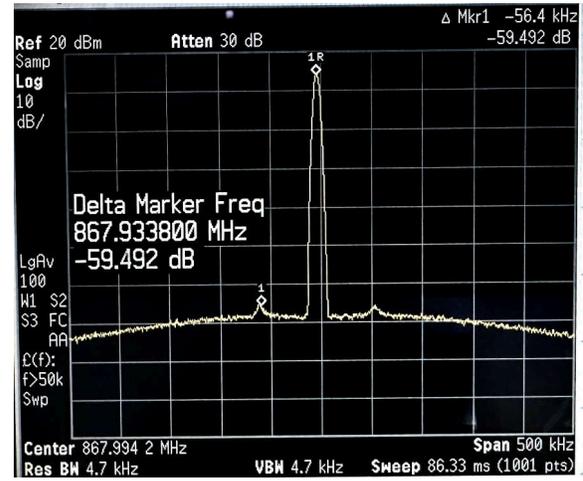


图 5-7. 15dBm 发射功率下的 LMR36510 频率输出

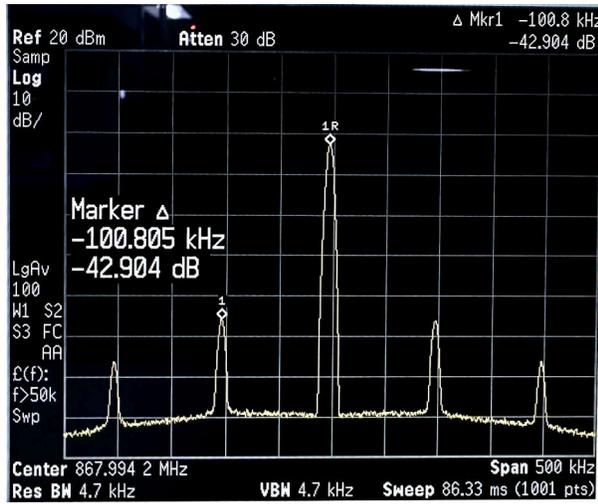


图 5-8. 在 400kHz 开关频率和 0dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出

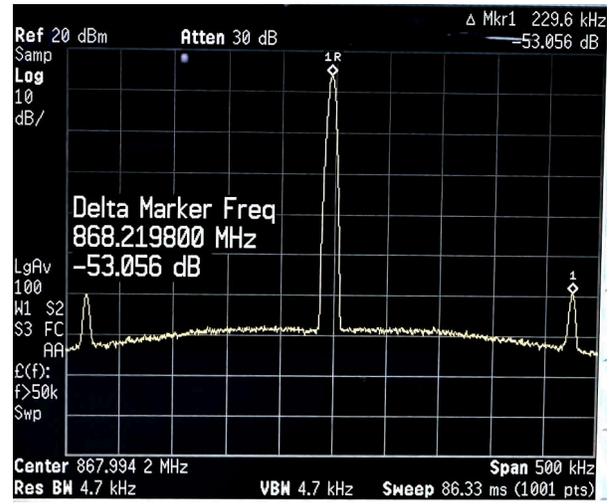


图 5-9. 在 400kHz 开关频率和 15dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出

然后在更大的跨度下测试 LMR36510 和 LMR36506，以便识别原始 500kHz 跨度之外的任何潜在杂散。

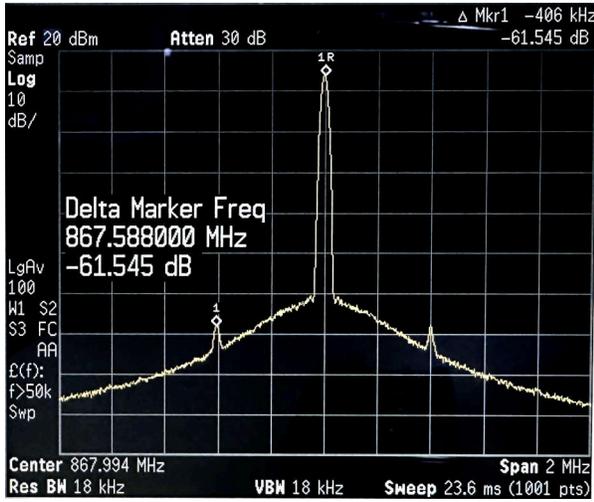


图 5-10. 在 2MHz 跨度和 15dBm 发射功率下的 LMR36510 频率输出

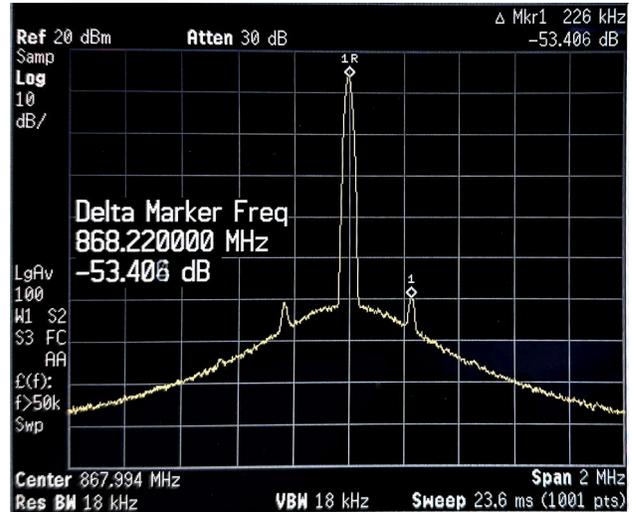


图 5-11. 在 2MHz 跨度 (400kHz 开关频率) 和 15dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出

在观察到 LMR36506 和 LMR36510 相较于控制单元展现出改善的谐波失真后，进行了额外的测试，调整 LMR36506 的开关频率来确定是否可以进一步改善。

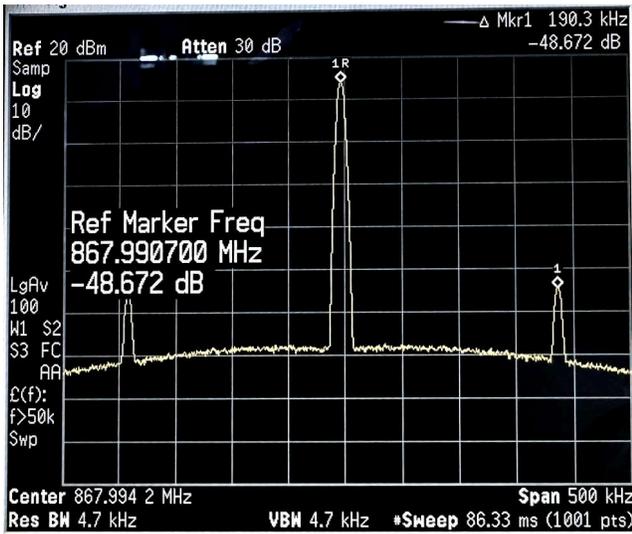


图 5-12. 在 200kHz 开关频率和 15dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出

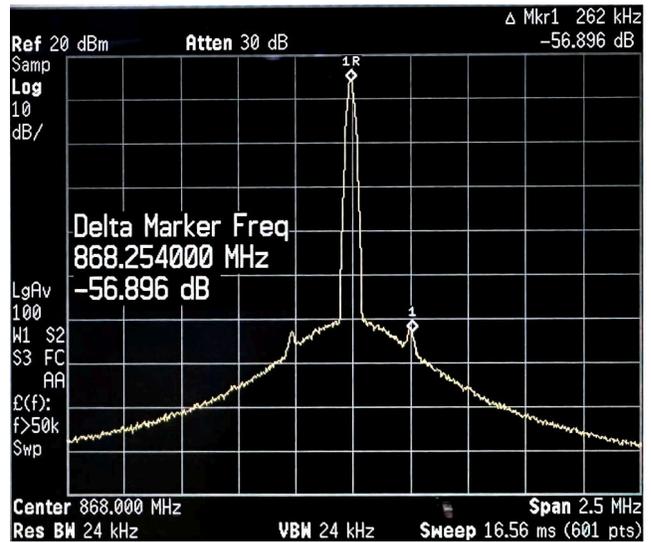


图 5-13. 在 2.5MHz 跨度、1MHz 开关频率和 15dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出

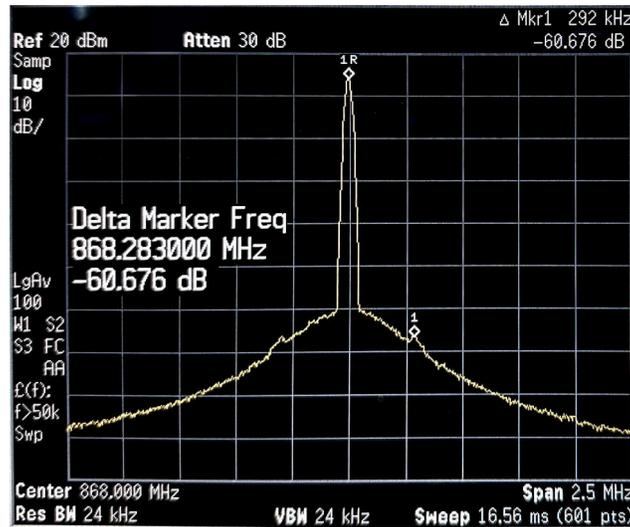


图 5-14. 在 2.5MHz 跨度、2MHz 开关频率和 15dBm 发射功率下的 LMR36506 频率输出

根据上面的频谱，LMR36510 在减少杂散发射方面具有出色的性能，如图 5-10 和图 5-8 所示。

6 结语

烟雾探测器应用的最初设计采用了 LM5166，频率输出频谱可以复现，如图 5-3 所示。在研究 LM5166 的功能要求时，要求中提到稳压器需要一定量的输出电压纹波才能保持稳定。在使用 CC1120 收发器时，这会带来问题，因为要在天线上输出干净的频率，输出电压最好几乎没有纹波。

根据测试结果，可以在系统中作出适宜的直流/直流调节选择，这样就不需要外部滤波或额外调节。由于有许多因素会影响稳压器的输出纹波电压，因此要测试稳压器的纹波对系统频谱中发射的影响，这会大有裨益。在这种情况下，适合此应用的正确选择是 LMR36510，因为它在天线处产生的杂散发射非常小。

7 参考资料

- 德州仪器 (TI) : [CC112x/CC1175/CC120x 在 274-320MHz 频段内的运行](#)
- 德州仪器 (TI) : [降压稳压器中展频实现方法的优缺点](#)
- 德州仪器 (TI) : [降压开关稳压器的输出纹波电压](#)

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司